

# **L'embat a l'illa de Mallorca**

Climent Ramis  
Noguera  
*Grup de Meteorologia.  
Departament de Física  
(UIB)*

*Territoris* (1998), 1:  
253-274

# L'embat a l'illa de Mallorca

**Climent Ramis Noguera**

Grup de Meteorologia. Departament de Física. Universitat de les Illes Balears.

## **Resum**

*Es presenta una revisió del concepte d'embat i de les condicions meteorològiques favorables per al desenvolupament d'aquesta circulació local. Es fa una discussió particular per a l'illa de Mallorca. Es descriuen les característiques de l'embat de mar a Mallorca, de les quals la més important és una línia de convergència al centre de l'illa. Es presenta una observació d'aquesta línia de convergència per satèl·lit. Finalment s'inclouen dues simulacions numèriques de l'embat; la primera, amb un model senzill, bidimensional en el pla horitzontal, i la segona, amb un model mesoescalar tridimensional amb un tractament sofisticat dels processos superficials.*

## **Abstract**

*A short revision of the breeze concept is presented. The favourable meteorological conditions for the development of such local circulation are considered with particular emphasis for the island of Mallorca. The major features of the sea breeze in Mallorca are discussed. The main characteristic is a convergence line in the centre of the island. A satellite observation of such convergence line is presented. Finally two numerical simulations of the sea breeze in Mallorca are included. The former uses a very simple bidimensional horizontal model and the second a tridimensional mesoscale model with sophisticate parameterization of the soil and surface processes.*

**Key words:** Mallorca. Sea breeze. Numerical simulation.

*Recepció del manuscrit, desembre de 1996*

## **Introducció**

Es coneix com a embat, de forma genèrica, el vent que es produeix entre dues zones adjacents quan tenen diferent resposta a la radiació solar. Aquesta circulació és de poc gruix i el vent als nivells baixos va des de la part freda a la calenta i, als nivells més alts, de la calenta a la freda (fig. 1). Així es pot formar embat entre una zona de sòl nu i una d'adjacent de vegetació espessa, o entre dues zones amb diferent tipus de vegetació. La forma més coneguda d'embat, i tal volta la que permet que el vent assoleixi els valors més alts, és la circulació que es produeix entre mar i terra en costes continentals i a les illes, com també en costes de llacs grans. També és molt conegut l'embat que es forma als pendents de muntanyes quan la muntanya està exposada a més radiació solar que la part plana que té al costat.

Per aquest motiu, d'ara endavant, parlarem d'embat com la circulació entre mar i terra. A l'estiu, quan la radiació solar és gran, la terra durant el dia assoleix unes temperatures altes que comunica a l'aire que té damunt, mentre que l'aigua no sofreix canvis apreciables de temperatura i, per tant, l'aire que té damunt tampoc els sofreix. L'augment de la temperatura sobre la terra produeix una disminució de pressió de tal manera que es crea una força sobre les partícules d'aire que les posa en moviment (Pielke, 1984). D'aquesta manera es pot produir una circulació des de la mar cap a la terra durant el dia, que serà més forta com més gran sigui la diferència entre la temperatura de l'aire sobre la mar i la que s'assoleix terra endins. La circulació comença just a la costa i té petites dimensions. Progressivament va augmentant de grandària i arriba més dins terra. L'aire des de la mar va canviant aire sec i calent per aire més fred i humit. Aquest canvi és bastant ràpid, de tal forma que la línia imaginària que separa els dos tipus d'aire es pot considerar com un front. El vent depèn de les condicions locals d'allà on es forma: estructura de la costa, tipus de sòl terra endins, vegetació, orografia, etc.

Durant la nit, la terra es refreda, per emissió de radiació tèrmica, i també l'aire de les capes baixes. La mar pràcticament no sofreix canvi de temperatura, ni l'aire que hi està en contacte. Si la temperatura de l'aire sobre terra és inferior a la de l'aire sobre la mar, es produeix una circulació semblant a la descrita anteriorment, però que va des de terra cap a la mar. Aquest vent és conegut com embat de terra o terral, i apareix normalment de matinada, quan sobre terra s'assoleixen les temperatures mínimes.

D'una forma general, podem resumir les condicions favorables per a la formació de l'embat, tenint en compte les consideracions anteriors. En primer lloc, la radiació solar ha de ser gran per produir un fort encalement del sòl. Això fa que siguin molt més propícies les condicions estiuenques, quan l'altura del sol sobre l'horitzó és gran. Perquè la radiació solar arribi al sòl, el cel ha d'estar estirat, sense núvols; això és més favorable quan el règim és anticiclònic i prop del centre de l'anticicló. Una altra condició favorable és que la radiació solar que arriba al sòl s'empri tota per encalement-lo. Això es produeix quan el sòl està sec; si conté aigua, part de la radiació solar s'empria per evaporar-la i, per tant, el sòl no augmenta tant la temperatura.

Les condicions a la Mediterrània occidental durant l'estiu són molt favorables per a la formació de l'embat. D'una banda, la seva latitud mitjana de  $40^{\circ}$  N fa que durant l'estiu l'altura del sol sobre l'horitzó assoleixi els  $73.5^{\circ}$ . D'altra banda, la situació meteorològica més freqüent durant l'estiu està caracteritzada per l'anticicló de les Açores, que estén la influència a l'Europa central. La baixa tèrmica que es desenvolupa sobre la península Ibèrica produeix un reforçament de la circulació anticiclònica sobre la Mediterrània occidental (fig. 2), i per tant una estabilitat que permet molt sovint la presència de cel estirat.

A Mallorca (fig. 3), durant l'estiu, el sòl està molt sec. Les precipitacions que normalment es produeixen durant la primavera no són suficients per mantenir el sòl humit. Com a exemple es pot veure, a la figura 4, el balanç hídric de Thornthwaite per a Lluçmajor. El dèficit d'aigua és molt gran durant l'estiu. Per aquest motiu el sòl assoleix temperatures altes. D'altra banda, Mallorca és suficientment gran per mantenir un focus calent al centre de l'illa, la qual cosa fa que la circulació es pugui mantenir tot el dia. En illes més petites, si l'aire fred de la mar, en allunyar-se de les costes, no té temps suficient d'encalement-se, la circulació desapareix en deixar d'existir una marcada diferència de temperatures i, per tant, el mecanisme generador de l'embat.

Com a conseqüència de les condicions favorables que acabam de comentar, a Mallorca l'embat es forma des de l'abril fins a l'octubre. Però és durant el juliol i l'agost

que la seva presència és quasi diària. A l'aeroport de Palma, al costat de la badia de Palma, la seva presència a les 1200 UTC és del 80% dels dies durant el juliol i del 76% durant l'agost. A la figura 5 es pot veure l'evolució del vent, la temperatura i la temperatura del punt de rosada a l'aeroport de Palma durant un dia que l'embat es va desenvolupar de forma ben neta. Es pot veure l'augment de la temperatura i la disminució de la humitat relativa des dels primers moments de la sortida del sol, i la disminució de temperatura i l'augment d'humitat que es registra en el moment de l'entrada de l'aire des de la mar.

## **L'embat a Mallorca vist per J. M. Jansà i E. Jaume**

L'alta freqüència de presentació de l'embat a Mallorca durant la part calenta de l'any no va passar desapercebuda als meteoròlegs de l'incipient Centre Meteorològic de les Balears els anys quaranta. Aquesta alta freqüència també va fer que s'adonassin de la importància meteorològica que tal circulació local té per a l'illa. Per aquest motiu, J. M. Jansà, com a cap del Centre, i els seus col·laboradors dissenyaren una campanya d'observació de l'embat per conèixer-ne les característiques. Eren conscients que l'estructura de l'embat era força complicada i que precisaven un gran nombre d'observacions per arribar al resultat desitjat. L'època, però, no permetia la realització simultània del nombre d'observacions desitjades. Per aquest motiu, recorreran a la climatologia i als coneixements del clima dels pagesos i pescadors. Aquests eren bons coneixedors de l'embat per tradició, ja que els seus avantpassats havien utilitzat l'embat durant segles per fer les eres netes durant la recollida del gra i com a energia eòlica per als molins o per desplaçar-se per la mar voltant Mallorca. A més a més, la climatologia popular filtra les perturbacions que poden estar lligades a un dia particular i ofereix uns valors mitjans que són els que interessen per a un estudi com el que es proposaven J. M. Jansà i els seus col·laboradors.

Amb aquesta intenció dissenyaren un qüestionari per ser contestat per pagesos i pescadors, que es va encarregar de passar la Guàrdia Civil. Amb 720 contestacions determinaren l'estructura de l'embat a Mallorca. El treball fou publicat per Jansà i Jaume (1946), i és el mirall on s'han mirat tots els meteoròlegs per a la previsió del vent durant l'estiu a Mallorca i la guia per als estudis posteriors.

Comentaré a continuació els principals resultats de Jansà i Jaume (1946). La figura 6a és una reproducció de la seva figura més clàssica. Representa les línies de corrent de l'embat. Com es pot veure, els corrents més importants corresponen als procedents de les dues grans badies i del sud, on la costa és baixa. A la badia de Palma el vent és del sud-oest, com també ho és a les costes del sud. A la badia d'Alcúdia el flux és del nord-est. A la costa de llevant el vent és de l'est, mentre que a la costa nord-oest l'embat és quasi inexistent, amb una manifestació al port de Sóller. La característica més important és que els fluxos des de les dues badies assoleixen el centre de l'illa i formen una línia de convergència per a un encontre dels dos corrents, de tal manera que en aquesta línia hi ha d'haver forts corrents verticals. La mateixa figura mostra la forta influència de l'orografia sobre els corrents de l'embat. On hi ha una orografia que ressalta (el massís de Randa, per exemple) s'hi formen remolins com si el corrent cercàs les parts més baixes per continuar l'entrada cap a l'interior de l'illa. Aquesta acció de l'orografia és molt més marcada a la serra de Tramuntana, de tal manera que l'altura de la serra és suficient per bloquejar el corrent i evitar l'entrada de l'embat dins l'illa. D'altra banda, la serra de Llevant no assoleix una altura suficient per aturar l'embat des de les costes de l'est, però el retarda de

tal manera que permet que els corrents des de les badies arribin al centre de l'illa. Una particularitat és que les dues grans badies es comporten com si fossin terra i no mar, de tal manera que l'embat comença a desenvolupar-se a les boques de les badies. L'entrada de l'embat dins aquestes es pot seguir visualment pel canvi que el vent va produint sobre l'estat de la mar i que, progressivament, es va acostant cap a terra.

A les zones on els corrents formen convergència, per continuïtat, es creen corrents verticals. Com que l'aire és humit, es formen núvols, els quals visualment permeten la identificació de les zones de convergència. Jansà i Jaume (1946) també presenten una carta (fig. 6b) amb la localització d'aquestes zones, que coincideix perfectament amb les zones on les línies de corrent conflueixen. Si les condicions meteorològiques són favorables, aquests núvols poden assolir un gran gruix i donar lloc a ruixats locals molt forts.

El treball de Jansà i Jaume (1946) es completa amb unes cartes on es donen el moment de l'inici i el del final de l'embat, així com la seva duració. Es pot veure que l'embat comença a les costes i va penetrant gradualment cap a l'interior amb una velocitat inferior a la del corrent de l'embat, la qual cosa demostra l'existència d'un front ben marcat. Anàlogament l'embat acaba primer a l'interior que a les costes, de tal manera que la duració total durant un cicle diürn va des d'unes sis hores, al centre de l'illa, a unes dotze hores a les costes del sud.

## La línia de convergència i la seva observació des de l'espai

Com hem vist a l'apartat anterior, Jansà i Jaume (1946) caracteritzaren la circulació lligada a l'embat a Mallorca i en posaren de manifest l'estructura més significativa: la línia de convergència al centre de l'illa per la confluència dels corrents des de la badia d'Alcúdia i la de Palma. També foren capaços de situar les zones més importants d'aquesta convergència.

Una comprovació de les idees de Jansà i Jaume (1946) sobre la línia de convergència fou realitzada per Ramis i Alonso (1988), els quals presentaren una observació de la formació dels núvols al centre de Mallorca utilitzant imatges del satèl·lit Meteosat (fig. 7). Aquesta imatge pot comparar-se amb l'anterior figura 6b.

## Una primera simulació numèrica de l'embat

Un primer intent de simular numèricament l'embat a Mallorca fou realitzat per Ramis et al. (1990). El model és bidimensional en el pla horitzontal (x,y). La velocitat del vent es calcula mitjançant l'expressió

$$\vec{V}(t + dt) = \vec{V}(t) + \vec{a}dt$$

on  $\vec{a}$  és l'acceleració donada per

$$\vec{a} = -\frac{1}{\rho} \nabla p - \vec{f} \times \vec{V} + \vec{R}$$

$\rho$  és la densitat de l'aire,  $p$  la pertorbació de la pressió,  $f$  el paràmetre de Coriolis, i  $R$  el

fregament.

La pertorbació de la pressió, deguda a les variacions de la temperatura, es determina

$$p(x, y, t) = -bA(x, y, t)B(t)$$

mitjançant

on  $A(x, y, t)B(t)$  és una funció sense dimensions proporcional a les variacions de temperatura, i  $b$  és una constant amb dimensions per transformar les variacions de temperatura a pertorbacions de pressió en hPa.

$B(t)$  és una funció sinusoidal amb un desplaçament del zero per simular condicions estiuenques tal com mostra la figura 8.  $A(x, y, t)$  representa la contribució radiativa (diabàtica) i advectiona a l'amplària de les variacions de temperatura. Arbitràriament assoleix valors des de 0 a 5. Els valors inicials d'aquesta funció es poden veure a la figura 9. Per la definició dels valors, se suposa que la resposta tèrmica a la radiació solar és uniforme dins l'illa i que és zero sobre la mar, amb una suau transició des de terra a la mar. Aquesta hipòtesi està fonamentada sobre la distribució de la temperatura màxima mitjana a Mallorca durant el juliol (Guijarro, 1985). L'entrada d'aire fresc des de la mar destrueix aquest comportament ideal; per això  $A$  depèn del temps. S'assigna un valor de 0,15 hPa a la constant  $b$  per produir una pertorbació màxima de 0,8 hPa en el centre de l'illa. El paràmetre de Coriolis es calcula a 40° N de latitud.

$$\vec{R} = \frac{C_D |\vec{V}| |\vec{V}|}{H} f(h)$$

L'important efecte de l'orografia sobre aquesta circulació s'introdueix en el terme del fregament. Aquest es calcula mitjançant l'expressió on  $C_D$  és el coeficient de fregament,  $|\vec{V}|$  és el mòdul de la velocitat i  $H$  és l'altura de la capa fronterera. La funció  $f(h)$  depèn de l'altura del terreny,  $h$ , de tal manera que el

$$f(h) = 0.5h^{3.5} + 1$$

fregament augmenta quan l'altura augmenta, simulant l'efecte de bloqueig que l'orografia imposa a un corrent local de poca alçada. Així la funció  $f(h)$  considerada fou on  $h$  està en hm. A més a més, el corrent es bloqueja absolutament quan l'altura del terreny és superior als 4 hm.

El coeficient de fregament  $C_D$  es considera constant tant sobre terra com sobre mar, amb valors  $4.5 \cdot 10^{-3}$  i  $1.2 \cdot 10^{-3}$  respectivament (Sánchez-Gallardo et al., 1977), però l'altura de la capa fronterera sofreix un cicle diürn que es parametritza d'acord amb els valors indicats per la figura 10.

El model s'integra numèricament sobre una xarxa de  $25 \times 22$  punts, amb una resolució de 6.5 km, començant a les 0530 UTC, que és aproximadament l'hora de la sortida del sol a Mallorca durant el juliol. La integració és avançada amb el temps i semilagrangiana (Bates i McDonald, 1982), i les forces de pressió es calculen per diferències finites centrades. L'acceleració se suposa constant durant cada pas de temps, que és de 900 s.

El procés de difusió per suavitzar els camps s'aconsegueix després de cada pas de temps reassignant valors a  $V$  i  $A$  a cada nu de la xarxa mitjançant una anàlisi, utilitzant els

$$\vec{V}(t+dt) = 0.8\vec{V}_a(t+dt) + 0.2\vec{V}(t)$$

valors de les nou partícules que estan més pròximes al nu considerat. Anàlogament, les

$$A(t+dt) = 0.7A_a(t+dt) + 0.3A(0)$$

variacions temporals de  $V$  i  $A$  se suavitzen a cada punt de la xarxa de la manera

i

on el subíndex  $a$  representa valor analitzat.

Les condicions inicials són vent, calma i pressió uniforme horitzontalment, molt freqüentment utilitzades en aquest tipus de simulacions (Anthes, 1978; Mahrer i Pielke, 1977).

Els resultats de la simulació es poden veure a la figura 11. A les 0900 UTC l'embat està desenvolupat sobre les costes amb un front ben marcat, però la circulació no ha assolit encara el centre de l'illa. A les 1200 UTC i a les 1500 UTC l'embat està completament madur. El model simula clarament la línia de convergència que es produeix al centre de Mallorca així com algunes convergències secundàries al nord-est. Aquest moment és el que s'ha de comparar amb la figura 6a. El model també simula el procés de dissipació de la circulació, de tal manera que l'embat s'acaba abans al centre de l'illa que a les costes, on encara hi ha una circulació notable a les 1800 UTC. Finalment, el model mostra la formació d'embat de terra durant la nit, el qual se situa únicament sobre les costes. El vent simulat coincideix amb força aproximació amb els valors registrats als observatoris de l'aeroport de Palma i de sa Canova (sa Pobla).

Es poden veure més detalls sobre el model a Ramis et al. (1990). S'ha de dir que una versió millorada, que inclou l'efecte d'un flux sinòptic sobre l'embat, funciona al Centre Meteorològic de les Balears.

## Una simulació tridimensional de l'embat

El model utilitzat per Ramis et al. (1990) és molt senzill. En primer lloc és bidimensional, la qual cosa fa que no simuli l'estructura tridimensional de l'embat. En segon lloc les parametritzacions dels processos físics que intervenen en el desenvolupament de la circulació són molt simples i, encara que realistes, ignoren alguns mecanismes molt importants, com per exemple, les diferències de la resposta tèrmica del terreny com a conseqüència de l'existència de vegetació. En tercer lloc, i lligat amb l'anterior, es considera el fregament i el bloqueig de l'orografia d'una manera massa forçada, etc.

Ramis i Romero (1995) utilitzaren un model numèric sofisticat per simular l'estructura tridimensional de l'embat a Mallorca. El model, desenvolupat per Nickerson et al. (1986), és un model d'equacions primitives amb una coordenada vertical que segueix el terreny. La difusió horitzontal s'introdueix mitjançant un operador de quart ordre, i els coeficients d'intercanvi turbulent són variables espacialment i temporalment com a funcions de l'energia cinètica turbulenta, pronosticada pel model, seguint Therry i Lacarrère (1983). Les equacions de balanç per a l'energia i el contingut d'aigua a la superfície es resolen en una capa d'interacció entre el sòl i l'aire. Un submodel permet resoldre la difusió de temperatura i aigua dins el sòl, a més d'incorporar una capa vegetal amb capacitat calorífica menyspreable (Mahfouf et al., 1987; Deardorff, 1978). La radiació solar i els fluxos infrarojos estan parametritzats seguint Mahrer i Pielke (1977).

El model s'aplicà a un domini de  $150 \times 150 \text{ km}^2$  sobre una xarxa de 2,5 km de resolució, amb uns paràmetres astronòmics corresponents al 15 de juliol a  $40^\circ \text{ N}$  de latitud. La simulació cobreix un cicle diürn començant a les 0500 UTC. L'estructura vertical es determina amb 30 nivells que, atesa la forma de la coordenada vertical, permeten una bona resolució als nivells baixos atmosfèrics. L'estructura tèrmica vertical inicial correspon a la mitjana del mes de juliol sobre Mallorca a les 0000 UTC (Ramis, 1976). Se suposa inicialment vent calma i camps horitzontals uniformes, donats per l'esmentada estructura vertical.

La distribució de tipus de sòl i vegetació considerats es poden veure a la figura 12. Es consideraren cinc tipus de textura de sòl i de vegetació. Per tenir en compte la diferent cobertura vegetal, s'ha d'incloure un factor de cobertura. Els paràmetres característics per a cada tipus de sòl i vegetació es poden veure en Ramis i Romero (1995).

La temperatura de la superfície de la mar considerada és de  $25^\circ \text{C}$  i la temperatura inicial del sòl correspon a la distribució de la temperatura mínima mitjana del juliol (Guijarro, 1985).

La figura 13 mostra el vent a 5 m del sòl donat pel model per a un cicle diürn. A les 0900 UTC (fig. 13a), l'embat entra a l'illa solament uns pocs quilòmetres, exceptuant la costa nord-oest, on el vent és molt fluix. La influència de l'asselellada part est de la serra de Tramuntana es pot identificar, ja que el vent, tant des de la badia de Palma com des de la badia d'Alcúdia, gira cap al pendent calent, és a dir, es forma simultàniament un embat de pendent. La circulació de l'embat està completament desenvolupada a les 1200 UTC, i es manté durant la tarda, com es pot veure a la figura 13b, que correspon al resultat del model a les 1500 UTC. La línia de convergència al centre de l'illa està perfectament representada, així com altres convergències menors al nord-est i al sud-est de l'illa. També es pot comparar aquesta figura amb la distribució de les línies de corrent trobades per Jansà i Jaume (1946). Es poden identificar dues circulacions ciclòniques petites i poc profundes a les 1500 UTC. La primera, al centre de l'illa, com a conseqüència del cisallament que hi ha entre els corrents des de les grans badies i del fort flux de calor des del sòl cap a l'aire. Es pot considerar com una baixa tèrmica de petites dimensions. La segona està localitzada a l'oest de l'illa, al sud d'un grup important de muntanyes. Molt més que un desenvolupament de sotavent, ha de ser considerat com un efecte de cap.

El model mostra una ràpida disminució de la circulació després de les 1900 UTC. A les 2100 UTC (fig. 13c) es veu que una circulació ciclònica dèbil queda entorn de l'illa. Malgrat això, els petits ciclons encara mantenen la influència sobre l'embat. El que era al centre de Mallorca s'ha desplaçat cap al nord i domina la circulació a la badia d'Alcúdia. La que era a l'oest s'ha desplaçat cap a l'est i determina la circulació a la badia de Palma i les costes del sud. A la matinada (fig. 13d) la circulació és molt dèbil. Un lleuger terral apareix sobre les costes del sud, est i nord-est.

L'estructura vertical de l'embat es pot veure mitjançant talls verticals al llarg de les línies AB, que inclou els vents més forts, i CD, que inclou la línia de convergència, indicades a la figura 3. La figura 14a mostra l'estructura vertical de la component del vent al llarg de la línia AB a les 1500 UTC. Es pot veure que l'embat, quan està completament desenvolupat, té un gruix inferior a 1 km. Els vents més forts estan sobre les costes. La convergència dels corrents al centre de l'illa és molt forta. El contracorrent també té un gruix aproximadament d'1 km, amb uns valors inferiors als del corrent. El tall vertical al llarg de la línia CD (fig. 14b) mostra que l'embat en aquesta direcció és més baix que en l'altra direcció considerada. Al nord-oest l'embat no pot sobrepassar la serra de Tramuntana i està restringit sobre la mar, mentre que a l'est sí que pot sobrepassar la serra



de Llevant. La part central d'aquest tall està dominada per divergència, al contrari del que passava en el tall AB.

Els resultats del model han estat comparats amb observacions realitzades en diferents observatoris i estacions meteorològiques automàtiques. Els resultats són força bons. Com un exemple, es presenta la figura 15, on es poden veure els resultats del model comparats amb les observacions realitzades a l'aeroport de Palma el 22 de juliol de 1993.

Per a més detalls sobre el model, resultats i efectes de l'orografia i de la sequedat del sòl sobre l'embat, vegeu Ramis i Romero (1995).

## Conclusions

El treball de Jansà i Jaume (1946) fou una contribució importantíssima al coneixement de la circulació tal volta més característica de Mallorca. Representa, d'altra banda, una visió avançada molts d'anys del que avui coneixem com a circulacions mesoescalars, és a dir, circulacions de petita escala que són realment les que localment determinen el temps. Ha estat el punt de partida i la referència de tots els estudis posteriors que s'han fet sobre l'embat a Mallorca.

Els models numèrics han mostrat la seva habilitat per simular aquesta circulació. El senzill model de Ramis et al. (1990), amb les millores introduïdes en el Centre Meteorològic de les Balears, pel poc cost de computació, pot ser una eina útil per als predictors. El model més sofisticat utilitzat per Ramis i Romero (1995), molt car computacionalment parlant, ha mostrat per primera vegada l'estructura tridimensional de l'embat i ha donat a conèixer aspectes nous, com ara les petites circulacions ciclòniques que es desenvolupen i que, al final del dia, són importants en la circulació residual.

El coneixement que es té en aquests moments de l'embat a Mallorca fa pensar que l'illa és un laboratori natural per estudiar a fons els fenòmens físics que participen en el desenvolupament de circulacions locals, en particular per als fenòmens de capa fronterera. No estaria gens malament dissenyar una nova campanya experimental d'observació, aprofitant els actuals recursos tècnics, per arribar a un coneixement molt més profund de l'embat. Aquest experiment podria anomenar-se EMBATEX.

## Referències

- ANTHES, R. A. (1978). «The height of the planetary boundary layer and the production of circulation in a sea-breeze models». *J. Atmos. Sci.*, 35, 1231-1239.
- BATES, J. R.; McDONALD, A. (1982). «Multiply-upstream, semilagrangian advective schemes: analysis and application to a multilevel primitive equations model». *Mon. Wea. Rev.*, 110, 1831-1842.
- DEARDORFF, J. W. (1978). «Efficient prediction of ground surface temperature and moisture, with inclusion of a layer of vegetation». *J. Geophys. Res.*, 83, 1889-1903.
- FONT TULLOT, I. (1983). *Climatología de España y Portugal*. Instituto Nacional de Meteorología, 296 pàg. Madrid.
- GUIJARRO, J. A. (1985). *Bioclimatología de las Islas Baleares*. Tesi doctoral. Universitat de les Illes Balears.
- JANSÀ, J. M.; JAUME, E. (1946). «El régimen de brisas en la isla de Mallorca». *Rev. de Geofísica*, 19, 304-328.
- MAHFOUF, J. F.; RICHARD, E.; MASCART, P. (1987). «The influence of soil and vegetation on

the development of mesoscale circulations». *J. Clim. Appl. Meteorol.*, 26, 1483-1495.

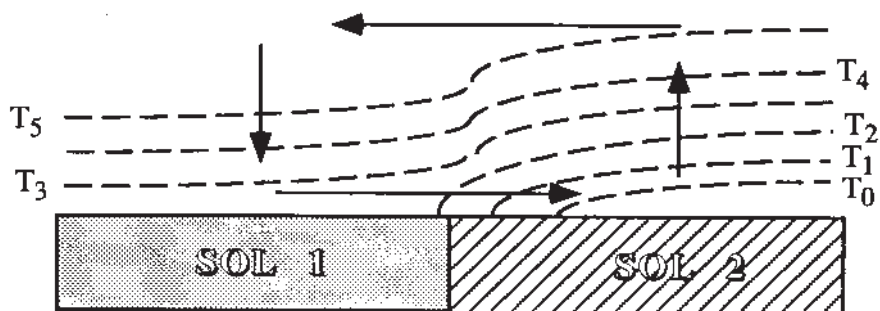


Fig. 1. Situació en la qual es desenvolupa l'embat.  
Les línies discontinües representen isotermes ( $T_0 > T_1 > T_2 \dots$ ).

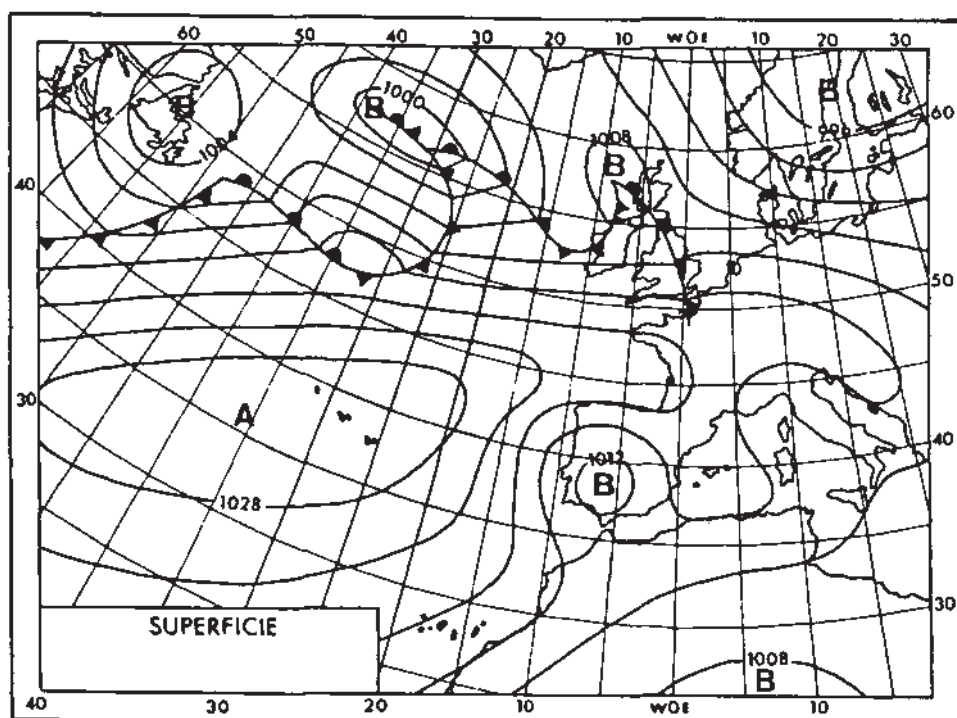


Fig. 2. Situació meteorològica clàssica a l'Europa i la Mediterrània occidental durant l'estiu  
(Font, 1983).

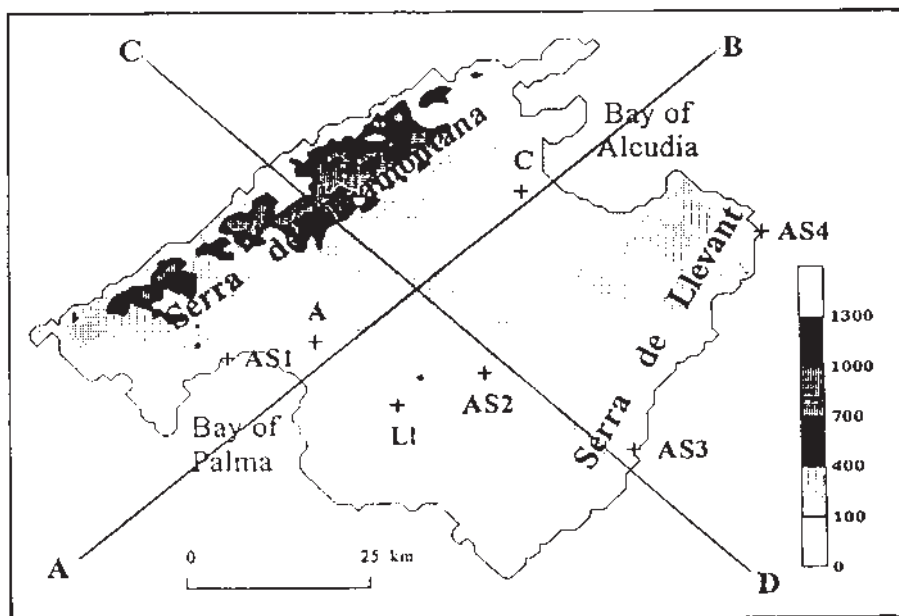


Fig. 3. L'illa de Mallorca. L'orografia i alguns indrets referenciats inclosos. ASn representen localitzacions d'estacions meteorològiques automàtiques, A representa l'aeroport, C representa sa Canova, LI la ciutat de Llucmajor. AB i CD indiquen les seccions verticals mostrades en el text (Ramis i Romero, 1995).

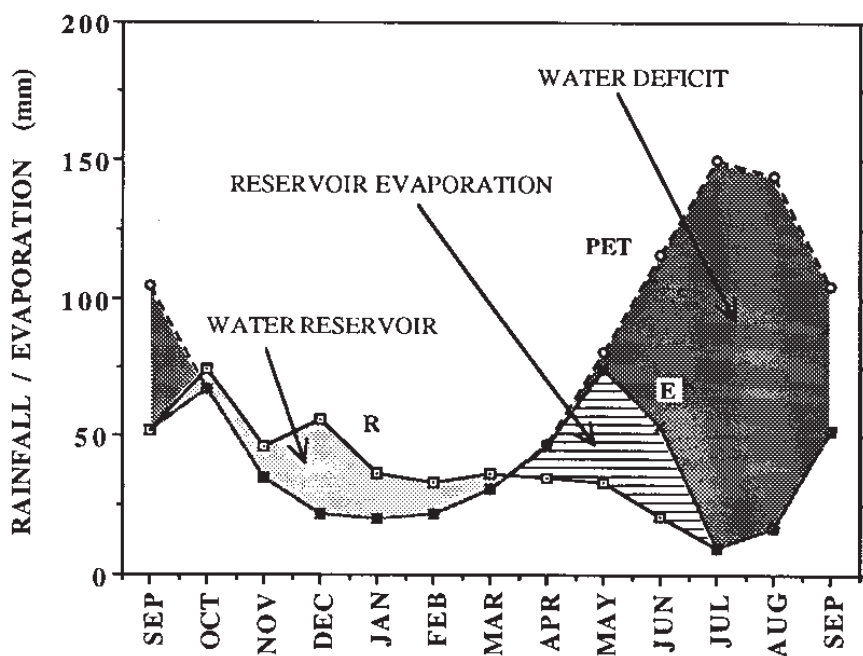


Fig. 4. Balanç hídric climàtic de Thornthwaite per a Llucmajor. R = precipitació, E = evaporació, PET = evapotranspiració potencial (Ramis i Romero, 1995).

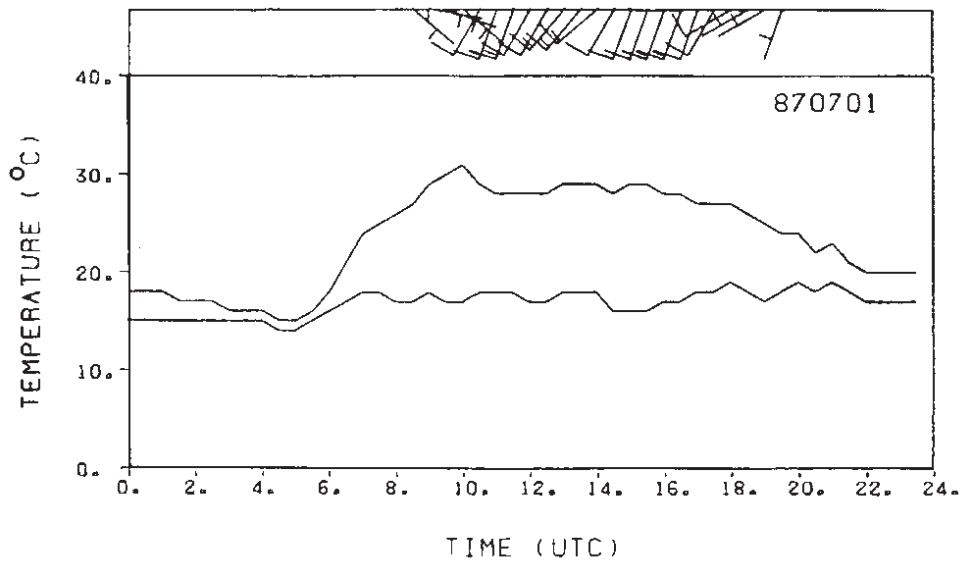


Fig. 5. Evolució del vent, la temperatura i la temperatura del punt de rosada a l'aeroport de Palma l'1 de juliol de 1987 (Ramis et al., 1990).

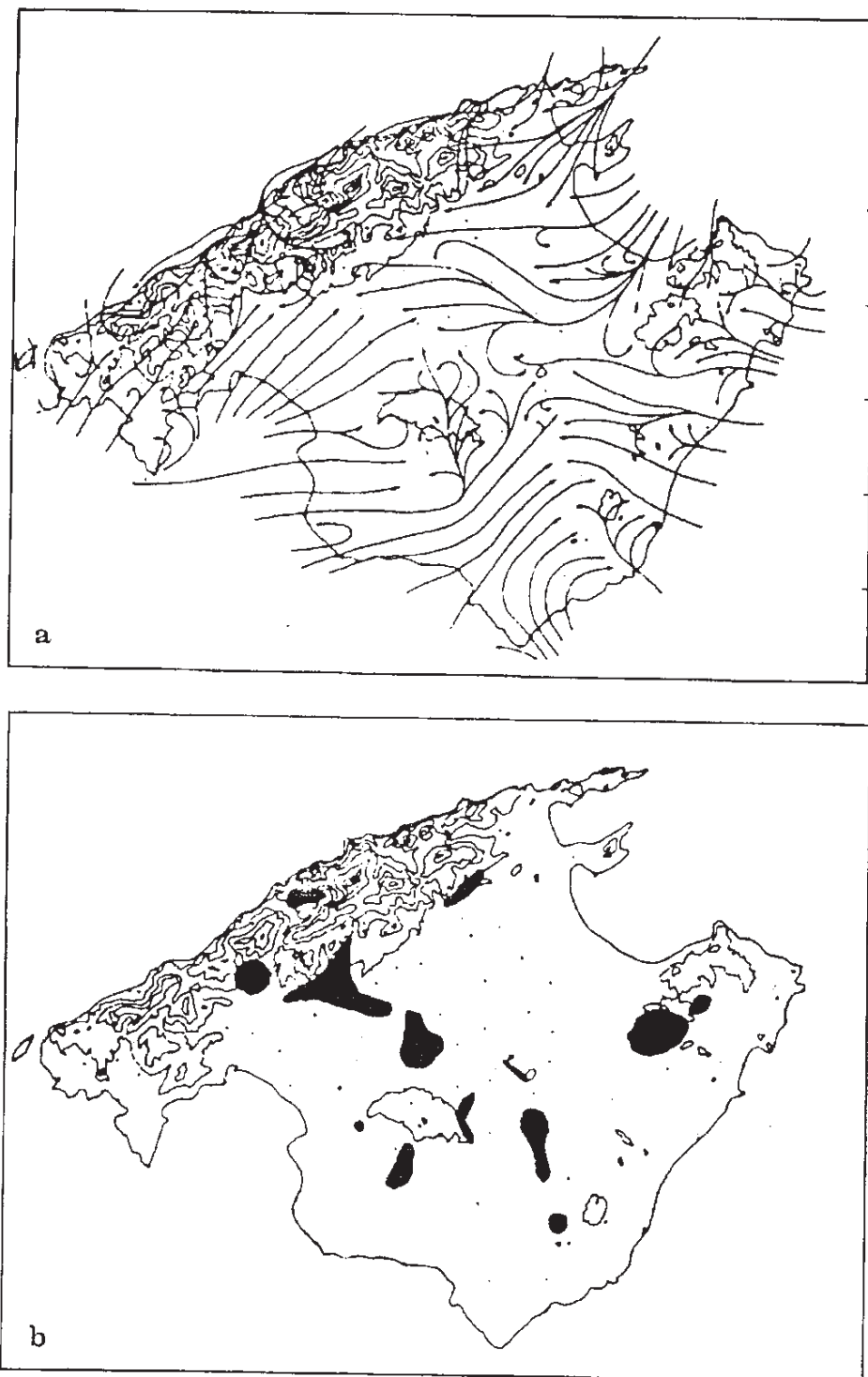


Fig. 6. a) Línies de corrent de l'embat madur a Mallorca; b) zones de convergència (Jansà i Jaume, 1946).

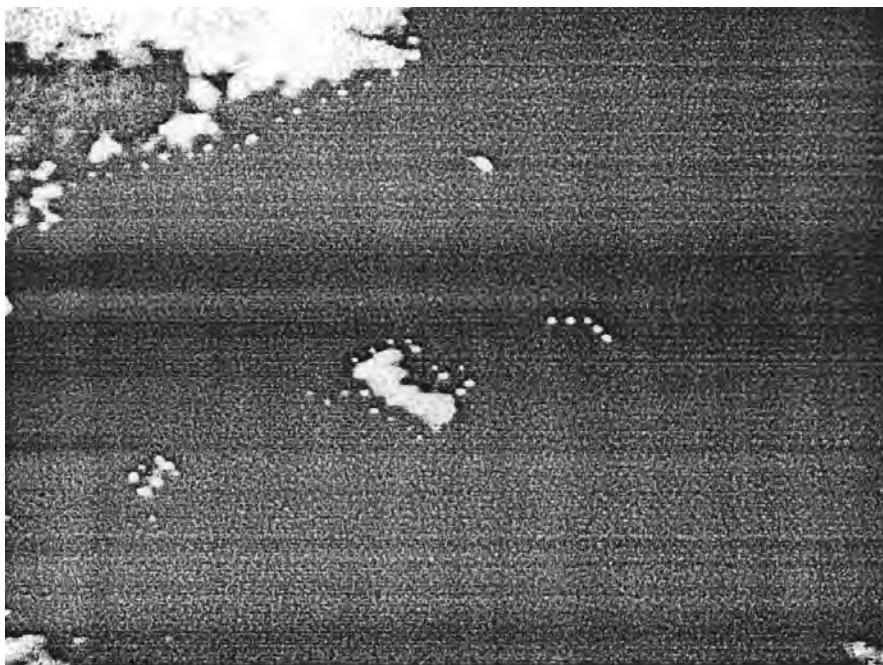


Fig. 7. Imatge Meteosat, canal VIS, de l'11 de maig de 1987 a les 1200 UTC (Ramis i Alonso, 1988).

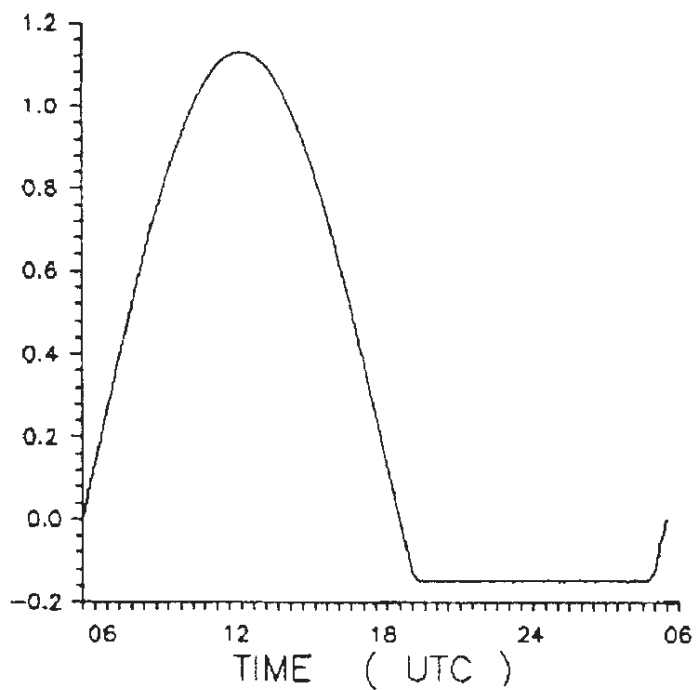


Fig. 8. La funció  $B(t)$  (Ramis et al., 1990).

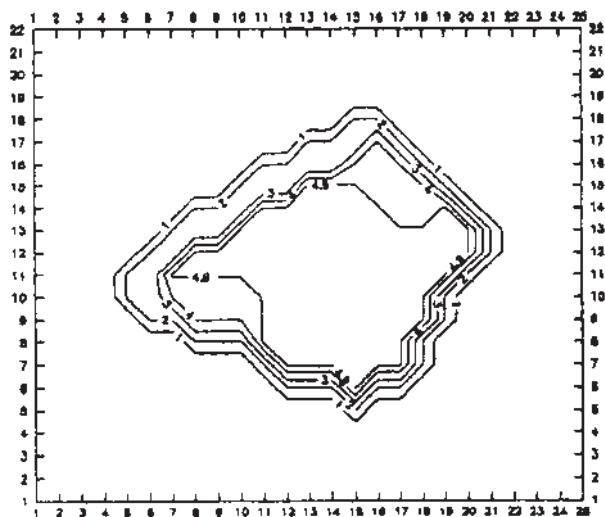


Fig. 9. Valors inicials de la funció  $A(x,y,t)$  (Ramis et al., 1990).

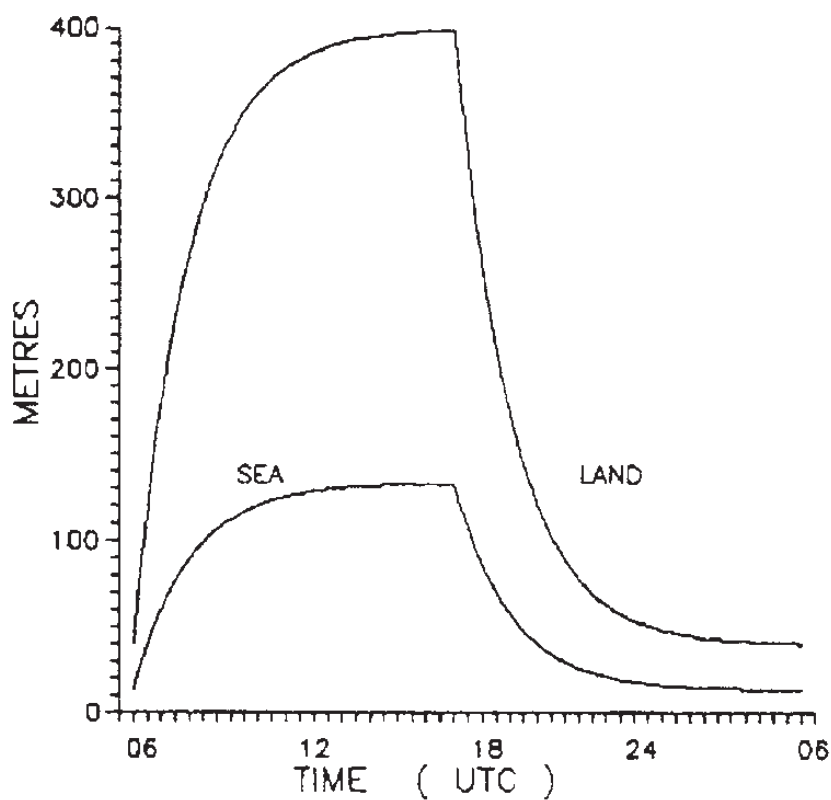


Fig. 10. Variació temporal de l'altura de la capa fronterera (Ramis et al., 1990).



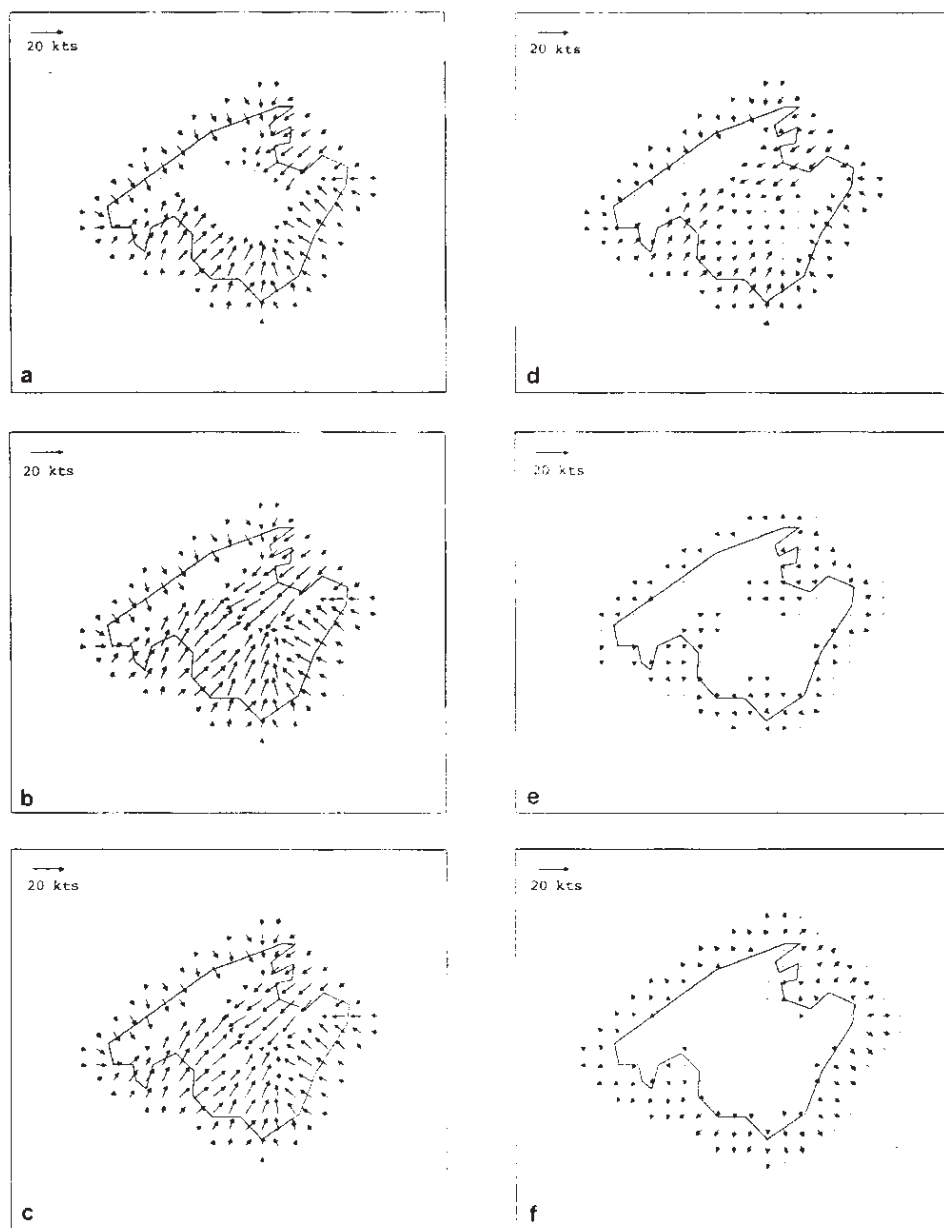


Fig. 11. Evolució diürna de l'embat segons la simulació de Ramis et al. (1990).  
a) 0900 UTC, b) 1200 UTC, c) 1500 UTC, d) 1800 UTC, e) 2100 UTC i f) 2400 UTC.

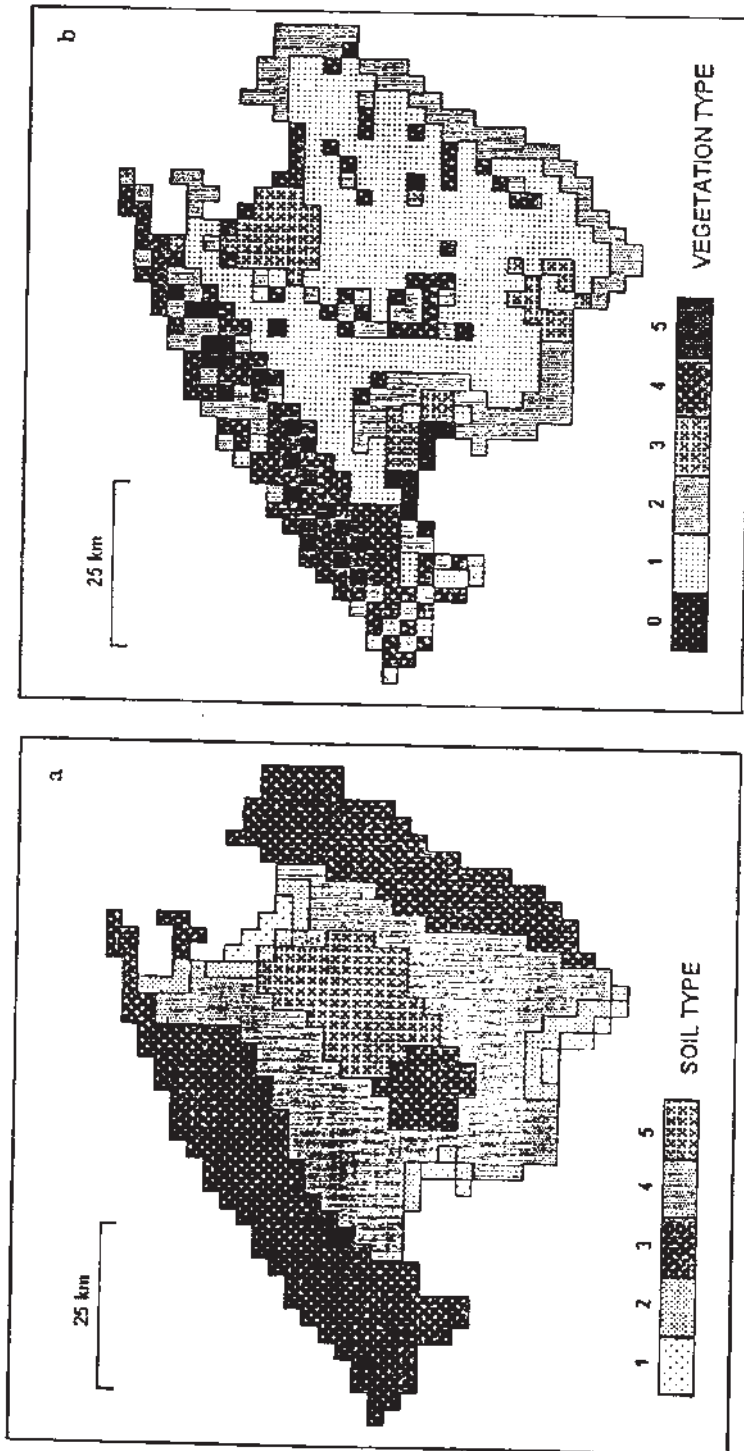


Fig. 12. a) Tipus de sòl considerats, 1 = arena, 2 = llim arenós, 3 = llim, 4 = llim argilós i 5 = argila.  
b) Tipus de vegetació, 0 = nu, 1 = herbàcia, 2 = garriga, 3 = forratge, 4 = bosc i 5 = alzar. (Ramis i Romero, 1995).

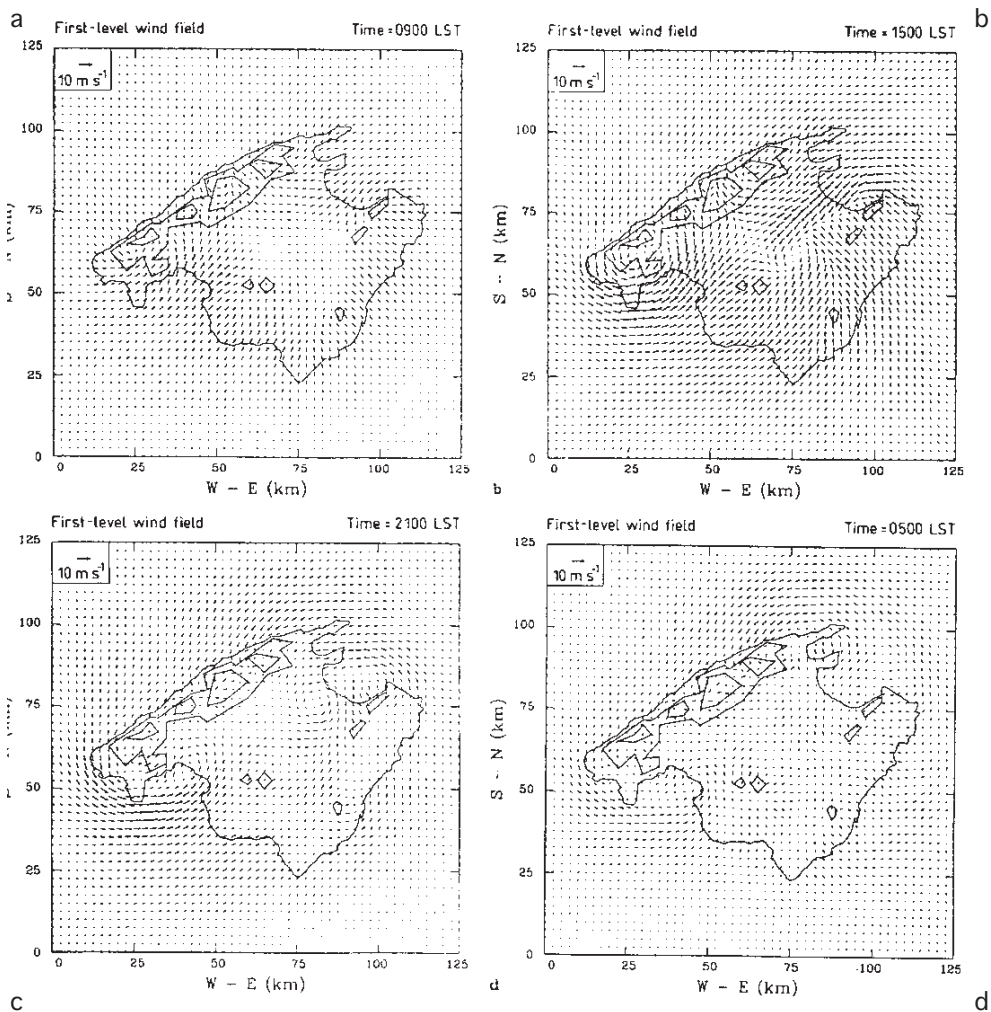


Fig. 13. Evolució diürna de l'embat segons la simulació de Ramis i Romero (1995).  
a) 0900 UTC, b) 1500 UTC, c) 2100 UTC, i d) 0500 UTC.  
A la figura es representen les corbes de nivell de 300 i 700 m.

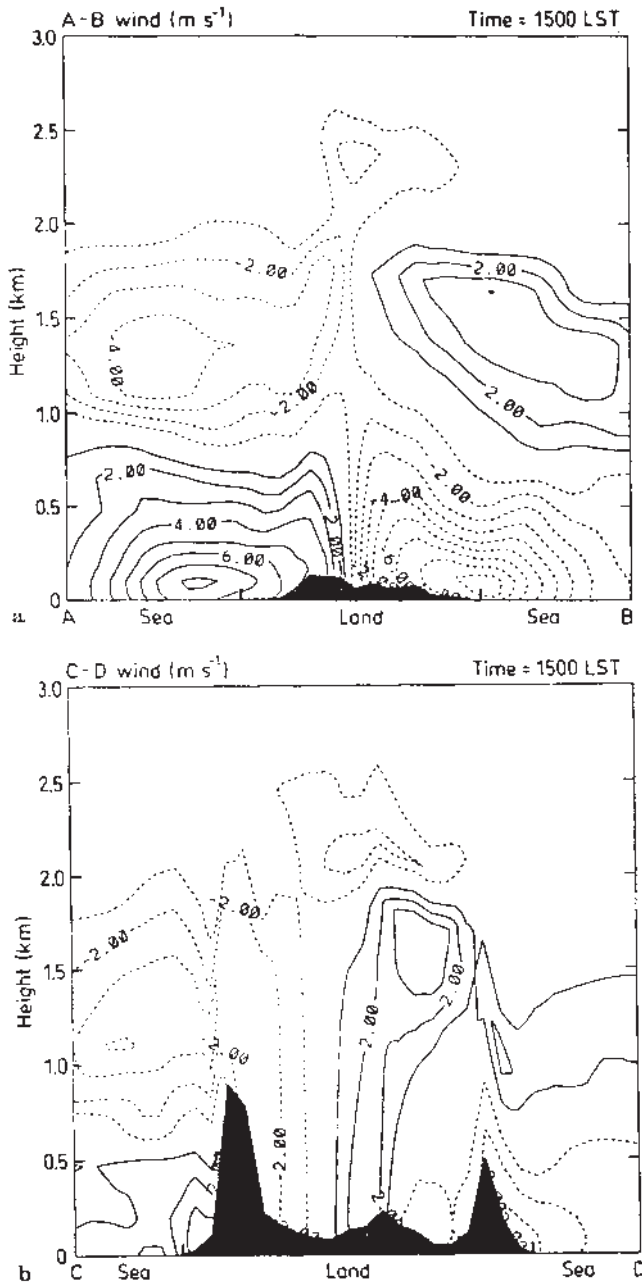


Fig. 14. Seccions verticals del component horitzontal del vent a les 1500 UTC:  
 a) al llarg de AB (valors positius representen vents del sud-oest),  
 b) al llarg de CD (valors positius representen vent del nord-oest) (Ramis i Romero, 1995).

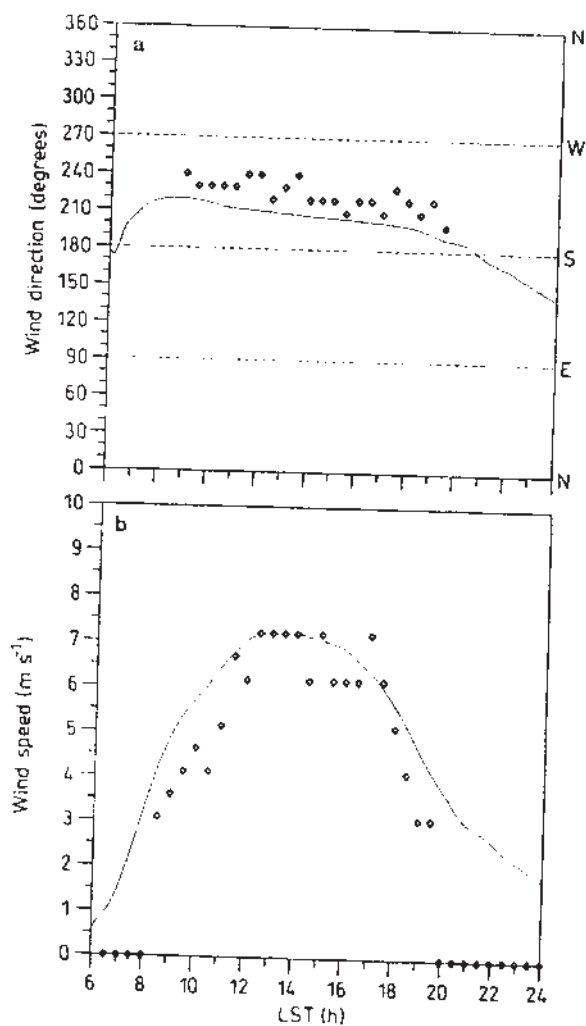


Fig. 15. Resultats del model (línia contínua) i observacions del vent a l'aeroport de Palma el 22 de juliol de 1993: a) direcció del vent i b) velocitat del vent. (Ramis i Romero, 1995).